

Aus dem Hallerianum, Bern

Direktor: Prof. Dr. A. von Muralt

**Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf
des konsensuellen Pupillenreflexes
beim Übergang in die Höhe**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der Universität Bern

vorgelegt von

Bruno Tschirren

von Ferenbalm, Kt. Bern

Basel

Gedruckt bei Benno Schwabe & Co.

1950



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Hallerianum, Bern
Direktor: Prof. Dr. A. von Muralt

**Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf
des konsensuellen Pupillenreflexes
beim Übergang in die Höhe**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde eines Doctor medicinae
der Universität Bern

vorgelegt von

Bruno Tschirren

von Ferenbalm, Kt. Bern

Auf Antrag des Herrn Prof. Dr. A. von Muralt von der
medizinischen Fakultät zum Druck als Dissertation
genehmigt.

Bern, den 13. Juli 1949.

Der Dekan
der medizinischen Fakultät:
Prof. Dr. **J. Dettling**



Sonderabdruck aus
Helvetica Physiologica et Pharmacologica
Acta 6, 554, 1948

Pupillenweite und Pupillenbewegung sind vorwiegend von der Stimmungslage im vegetativen Nervensystem abhängig. Die beim Höhenwechsel zu beobachtende Veränderung der Pupillenweite wurde von *Züst* (1), *Wiesinger*, *Plüss* und *Werner* (2, 3) untersucht. Auf dem Jungfraujoch wurden engere Pupillen gefunden als im Tal, und die Schwankungen der Pupillenweite waren besonders in den ersten Tagen des Höhengaufenthaltes geringer.

Wir stellten uns zur Aufgabe, den zeitlichen Verlauf der Pupillenbewegung und seine Änderung beim Höhenwechsel zu verfolgen, wobei wir uns auf die Untersuchung des konsensuellen Lichtreflexes beschränkt haben. In früheren Arbeiten ist die Pupillenbewegung zumeist gefilmt worden, mit dem Nachteil, daß nur einzelne Punkte des Reflexvorganges festgehalten werden konnten. *Matthes* (4, 5) beschrieb als erster ein lichtelektrisches Verfahren, welches gestattet, den Reflexablauf fortlaufend zu registrieren. Nach dieser Methode haben wir unsere Messungen durchgeführt.

Methode

Die Iris reflektiert langwelliges, insbesondere infrarotes Licht stärker als der Augenhintergrund. Deshalb ist bei enger Pupille und großer Irisfläche der reflektierte Lichtstrom stärker als bei weiter Pupille und kleiner Irisfläche. Die Flächenänderungen bei der Pupillenreaktion können also in Lichtstromschwankungen verwandelt werden. Auf ein Lichtelement übertragen, gehen diese in Gleichstromschwankungen über, welche verstärkt und mit einem Spiegelgalvanometer photographisch registriert werden. Nach diesem Prinzip haben wir unsere Versuchsanordnung aufgebaut (Abb. 1).

Die Lichtstrahlen einer 50 W-6 V-Autolampe L_1 , durch eine Linse von 10 D parallel gerichtet, treten durch ein Rotfilter F (Leitz Mittel) und treffen auf die Sammellinse eines Auflichtkondensors (Leitz Ultropak). Die Beleuchtungsoptik B dieses Kondensors entwirft auf der Iris einen roten Lichtkreis. Die reflektierten Strahlen gelangen durch die Abbildungsoptik A auf ein Lichtelement LE (Selen-Vorderwandzelle von Lange), welches unmittelbar am Kondensor angebracht ist. Lampe, Linse, Filter und Kondensor stehen fest auf einer optischen Schiene. Das

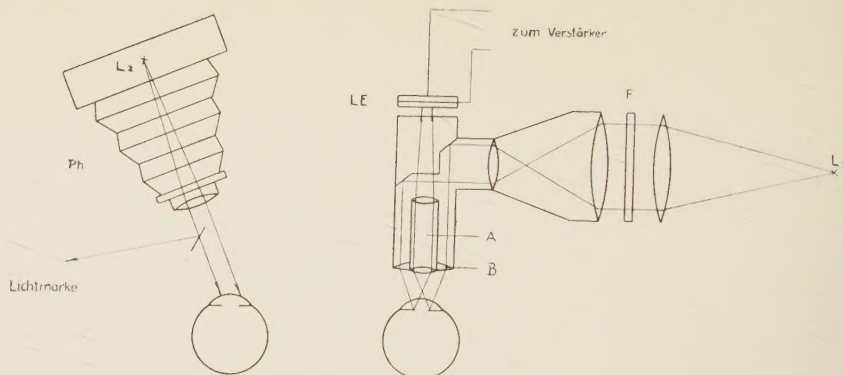


Abb. 1. Versuchsanordnung. A: Abbildungsoptik des Auflichtkondensors. B: Beleuchtungsoptik des Auflichtkondensors. F: Rotfilter. L_1 : 50W-6V-Lampe für das Rotlicht. L_2 : 25W-6V-Lampe für den Lichtblitz. LE: Lichtelement. Ph: Photoapparat, mit dessen Verschluss der Lichtblitz ausgelöst wird.

Filter läßt nur Licht von über $620\text{ m}\mu$ Wellenlänge durch. Pupillomotorisch am wirksamsten ist das Gebiet um $530\text{ m}\mu$, so daß das verwendete Licht die Pupillenweite nur wenig beeinflusst, dafür aber relativ starke Photoströme erzeugt.

Die konsensuelle, reflektorische Pupillenänderung des rechten Auges wurde durch einen Lichtblitz auf das linke Auge ausgelöst. In einem Photoapparat Ph ist an Stelle der Mattscheibe eine 25 W-6 V-Glühlampe L_2 eingesetzt. Durch Öffnen des Verschlusses wird das Auge $\frac{1}{33}$ sec belichtet, wobei ein Teil des Lichtblitzes auf den registrierenden Film als Marke geworfen wird.

Die Photoströme des Lichtelementes werden mit einem Thermorelais-Verstärker von Kipp verstärkt und als Galvanometerausschlag auf einem Jaquet-Kymographion im Abstand von etwa 170 cm optisch registriert.

Die durch den Thermorelais-Verstärker und die Tätigkeit der Galvanometer entstehende Verzögerung ist sehr konstant und beträgt bei den von uns verwendeten Ausschlägen 0,075 sec. Dieser Wert ist von der auf den Kurven ausgemessenen Latenzzeit abzuziehen. Da alle Aufnahmen mit der gleichen Anordnung gemacht wurden, sind sie untereinander vergleichbar und enthalten alle die gleiche Zeitkonstante des Verstärkers.

In andern Versuchen haben wir die Pupillenbewegung nach denselben Grundsätzen, aber mit Röhrenverstärker und Tintenschreibergalvanometer registriert (6).

Während der Aufnahmen muß das Auge möglichst ruhig sein, was durch eine gute Fixation des Kopfes mit Beißbrettern erreicht wird, die mit einem Stahlbolzen an einer Stütze befestigt werden, in allen drei Ebenen verstellbar und ebenfalls auf der optischen Schiene festgemacht sind. Um Bewegungen des Bulbus auszuschalten, fixiert die Versuchsperson mit dem linken Auge einen etwa 30 cm entfernten Punkt. Durch Verschieben der Kopfstütze wird der Lichtkreis so auf die Iris eingestellt, daß alle Pupillenbewegungen die ausgeleuchtete Irisfläche deutlich ändern. Der Lichtkreis soll nicht zu nahe am Limbus corneae liegen, da er sonst bei geringfügigen Bulbusbewegungen, welche kaum ganz zu vermeiden sind, die stärker reflektierende Sklera berührt, wodurch erhebliche Verzerrungen der registrierten Kurve entstehen.

Ergebnisse

Abbildung 2 ist ein Beispiel einer Registrierkurve und zeigt den typischen Verlauf eines konsensuellen Lichtreflexes. Der Verengung der Pupille entspricht ein Ausschlag nach unten. Nach dem Lichtreiz L verstreicht die «scheinbare» Latenzzeit, die sich aus der Zeitkonstante der Apparatur = 0,075 sec und der wahren Latenzzeit des Reflexes zusammensetzt. Dann beginnt bei A die Verengung, die in einer raschen, vorerst beschleunigten,

dann verzögerten Bewegung besteht, welche im Punkte B beendet ist. Unmittelbar anschließend erweitert sich die Pupille, ein Vorgang, der langsamer und unregelmäßiger als die Verengung verläuft. Aus den bei der Expedition vom 6.–23. Januar 1944 in Lauterbrunnen und auf dem Jungfraujoch gewonnenen Kurven an 7 männlichen Versuchspersonen im Alter von 19–23 Jahren haben wir 1. die wahre Latenzzeit des Reflexes und 2. die Verengungszeit bis zur maximalen Verengung ausgemessen. Wir erhielten leider nicht von jeder Vp an jedem Tag eine brauchbare Kurve, so daß wir auf eine

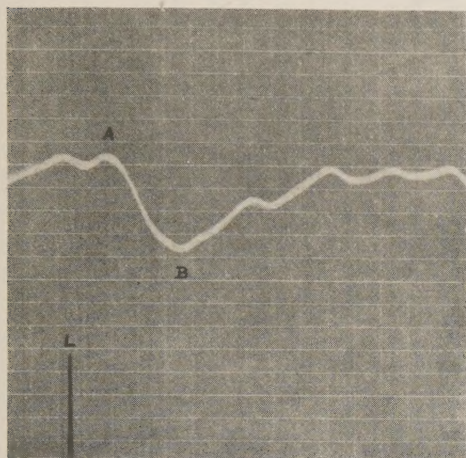


Abb. 2. Reflexkurve. L: Lichtreiz. A: Beginn der Verengung. B: Ende der Verengung. Zeitmarke $\frac{1}{5}$ sec.

Einzelbetrachtung der Vp verzichten und uns darauf beschränken, die Ergebnisse als Gruppenmittelwerte darzustellen. Die statistische Bearbeitung erfolgte nach den von Linder¹⁾ angegebenen Verfahren (7). Wir haben die Unterschiede der arithmetischen Gesamtmittelwerte für die einzelnen Perioden auf ihre Sicherheit geprüft und den Verlauf der Tagesmittelwerte untersucht.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt.

Latenzzeit. Der Mittelwert der Latenzzeit vor dem Aufstieg in Lauterbrunnen war 304 msec. Während der ersten 4 Tage der Höhenperiode nahm sie ab. Vom 5.–9. Tag des Höhengaufenthaltes stieg sie von Tag zu Tag um etwa 12 msec täglich. 9% der Streuung in dieser Periode lassen sich aus der täglichen Veränderung erklären. Der Mittelwert der Latenzzeiten in der Höhe ist 287 msec. Die Differenz von 17 msec ist statistisch nicht gesichert.

¹⁾ Herr Prof. A. Linder ist uns auch persönlich mit seinem Rat beigestanden, wofür wir ihm an dieser Stelle unsern Dank aussprechen.

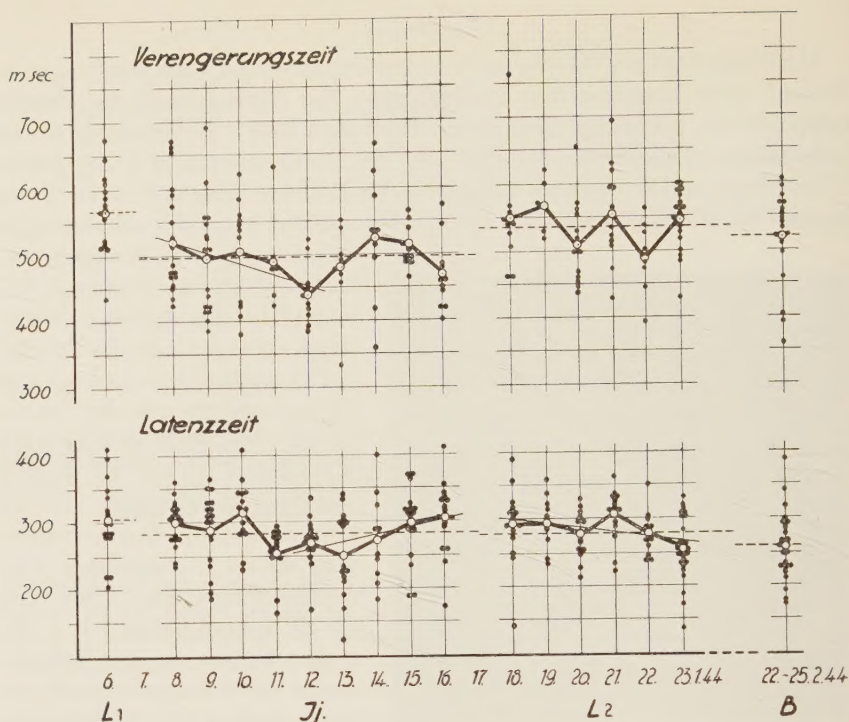


Abb. 3. Graphische Darstellung der Versuchsergebnisse. Kleine Kreise: Werte der einzelnen Aufnahmen. Große Kreise: Tagesmitttelwerte (durch die Kurve verbunden). Gestrichelte Linien: Gesamtmittelwerte der betreffenden Perioden. Feine Linien: Linearer Verlauf der Tagesmitttelwerte (Regressionsgerade). *L*₁ und *L*₂: Lauterbrunnen. *Jj.*: Jungfraujoeh. *B*: Bern.

Während der Nachperiode in Lauterbrunnen nahm die Latenzzeit etwas ab. 7% der Streuung in dieser Periode lassen sich auf die tägliche Veränderung zurückführen. Eine Nachmessung in Bern ergab einen erniedrigten Wert von etwa 260 msec.

Verengerungszeit. Vom 1.-4. Tag des Höhenaufenthaltes nahm die Verengerungszeit von Tag zu Tag um etwa 16 msec täglich ab. 9% der Streuung in dieser Periode sind aus der täglichen Veränderung zu erklären, die übrigen 91% müssen auf Unterschiede zwischen den *V_p*, auf Schwankungen im Laufe des Tages und auf andere, unbekannte Ursachen zurückgeführt werden. Vom 5.-9. Tag des Höhenaufenthaltes nahm die Verengerungszeit wieder etwas zu, ohne den Tieflandwert zu erreichen.

Während der Nachperiode in Lauterbrunnen war die Verengerungszeit wieder erhöht. Und bei einer Nachuntersuchung in Bern wurde merkwürdigerweise wieder ein verkürzter Wert gefunden. Das arithmetische

Mittel der Vorperiode in Lauterbrunnen betrug 565 msec, dasjenige der Höhenperiode 495 msec. Der Unterschied von 70 msec ist mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 99% *nicht* zufällig. Das arithmetische Mittel der Nachperiode in Lauterbrunnen ist 536 msec. Auch dieser Unterschied von 41 msec ist mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 99% *nicht* zufällig.

Vergleicht man dagegen das arithmetische Mittel der Vorperiode in Lauterbrunnen: 565 msec mit der Nachperiode in Lauterbrunnen: 536 msec, so ist der Unterschied von 29 msec statistisch nicht gesichert.

Diskussion

Beim Übergang in die Höhe wird nach unseren Messungen die Verengerungszeit kürzer, und die Tagesmittelwerte erreichen am 5. Jochtag ein Minimum. Die Latenzzeiten scheinen auch etwas abzunehmen und zeigen in sehr abgeschwächter Weise einen ähnlichen Kurvenverlauf wie die Verengerungszeiten. Da die Differenzen in den Mittelwerten aber statistisch nicht gesichert sind, möchten wir diesem Befund keine zu große Bedeutung beimessen.

Die Beobachtung der Pupillenbewegung hat gezeigt, daß die Reflexerregbarkeit in der Höhe gesteigert ist, und dieser Befund fügt sich als weiterer Beitrag in die Reihe der Beobachtungen von *Fleisch* und seinen Mitarbeitern ein (s. dieses Heft), wonach die Reizschwellen beim Übergang vom Tiefland auf das Jungfraujoeh *erniedrigt* werden. Eine Gegenüberstellung der von uns beobachteten Erscheinung mit den durchwegs gegenteiligen Angaben in der bisherigen Literatur ist deswegen überflüssig, weil alle Beobachtungen über die *Verminderung* der Reflexerregbarkeit in der Höhe bei sehr viel geringeren O_2 -Partialdrucken gemacht wurden. Die von uns beobachtete Verkürzung der Reflexzeit des konsensuellen Pupillenreflexes ist daher eine Ergänzung der bisher bekannten Daten in einem Bereiche des O_2 -Partialdruckes, der bisher nicht genügend untersucht wurde. Offenbar ist die erste Reaktion beim Aufstieg in die Höhe die Verkürzung der Reflexzeiten, und erst bei weiterer Abnahme des Sauerstoffangebotes kommt es zu der gefährlichen Verlängerung der Reflexzeiten.

Wenn die Latenzzeit dabei praktisch unverändert bleibt, so steht das nicht im Widerspruch zu unserer Deutung, denn sie ist ja in erster Linie durch die Überleitung des Reizes und nicht durch die Tätigkeit des Reflexzentrums bedingt. Die Überleitung wird aber anscheinend durch den Höhenwechsel wenig beeinflußt.

Zusammenfassung

1. Nach der lichtelektrischen Methode von *Matthes* wurde mit einer eigenen Apparatur der konsensuelle Pupillenreflex an sieben gesunden männlichen Vp in Bern (550 m ü. M.), Lauterbrunnen (800 m) und während neun Tagen

auf dem Jungfraujoch (3457 m) registriert. Aus den so erhaltenen Kurven wurde die Latenzzeit und die Zeit bis zur maximalen Verengung der Pupille, die Verengerungszeit, bestimmt.

2. Der Gesamtdurchschnitt der Latenzzeit ist im Tal und auf dem Jungfraujoch fast gleich groß. Eine geringe Abnahme ist nicht gesichert.

Der Gesamtdurchschnitt der Verengerungszeit dagegen ist in der Höhe deutlich niedriger als im Tiefland.

3. Die Tagesmittelwerte von Latenz- und Verengerungszeit sinken zu Beginn des Höhenaufenthaltes ab und steigen nach dem fünften Tag wieder an.

4. Die Ergebnisse werden im Sinne einer Steigerung der Reflexerregbarkeit im Höhenklima gedeutet.

1. Züst, F.: Luftfahrtmed. **4**, 209 (1940). – 2. Wiesinger, K., und Werner, H.: Helv. Physiol. Acta **6**, 540 (1948). – 3. Wiesinger, K., und Plüss, H. R.: Helv. Physiol. Acta **6**, 528 (1948). – 4. Matthes, K.: Klin. Wschr. 295 (1941). – 5. Brunn, W. von, Falk, R., und Matthes, H. und K.: Pflügers Archiv **244**, 644 (1941). – 6. Tschirren, B.: Helv. Physiol. Acta **5**, C 57 (1947). – 7. Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure, Birkhäuser, Basel 1945.

